Энергетический путь глюкозы

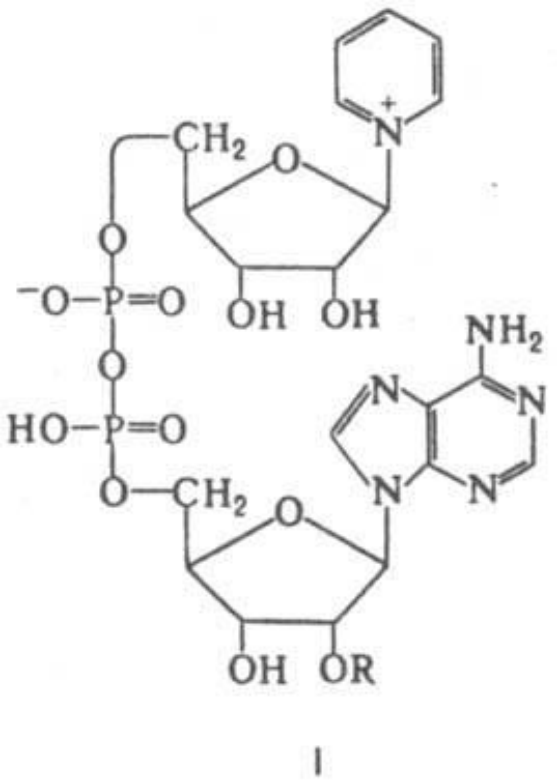
—

Путь получения энергии

Участвующие лица и общая информация

Есть два основных способа получения энергии:

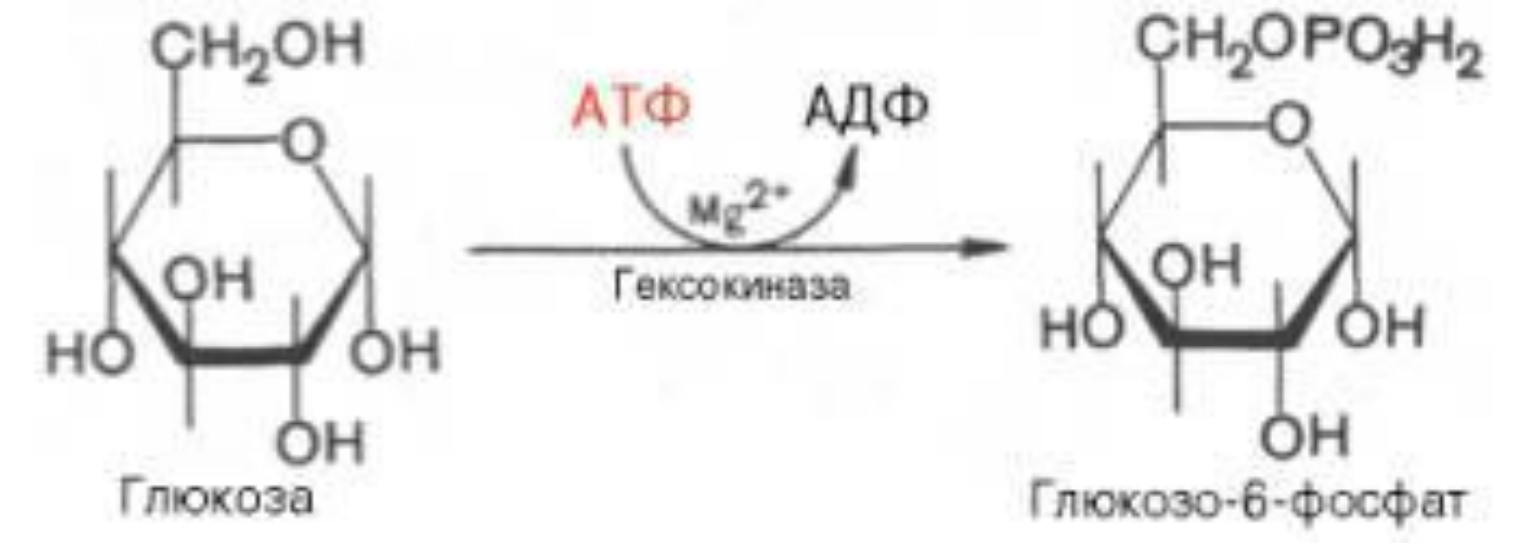
- Перенос электронов на цепи переноса электронов с помощью никотинамидадениндинуклеотида (NAD, он на картинке) или флавинадениндинуклеотида (FAD). Он из состояния NAD+ и FAD2+ восстанавливаются в состояние NAD*H и FAD*H2, получая электроны из субстрата.
- Получение АТФ\ГТФ напрямую прямым дефосфорилированием. ГТФ по энергетике равнозначен АТФ.



Гликолиз. Первый этап.

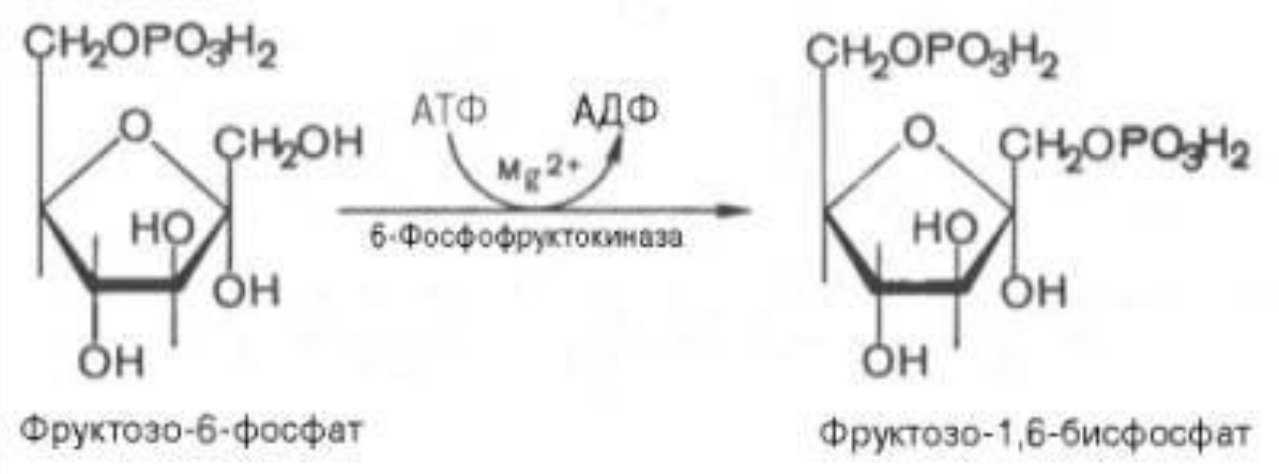
Данная стадия характеризуется **5 этапами** превращения глюкозы. 2 раза она фосфорилируется с затратой 2 АТФ, чтобы после дефосфорилироваться с получением NAD*H. Каждая р-ция проходит при участии ферментов ниже под стрелкой. Некоторые р-ции обратимы, они обозначены стрелками ⟷

Глюкоза ➡ Глюкоза-6-фосфат (-1АТФ)



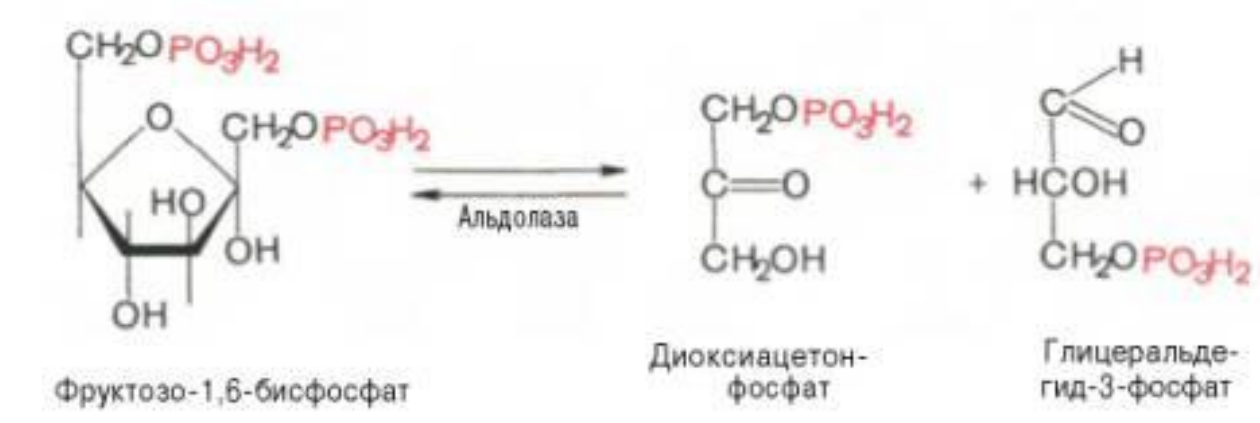
Глюкоза-6-фосфат ⟷ Фруктоза-6-фосфат (изомеризация)

Фруктоза-6-фосфат → Фруктоза-1,6-бифосфат (-1АТФ)



Фруктоза-1,6-дифосфат ⇔ Диоксиацетон-фосфат

⇔ Глицеральдегид-3-фосфат



Диоксиацетон-фосфат ⟷ Глицеральдегид-3-фосфат

ИТОГИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ГЛИКОЛИЗА

- **Глюкоза** перешла в **2 молекулы глицеральдегид-3-фосфата.**
- **-2 АТФ**

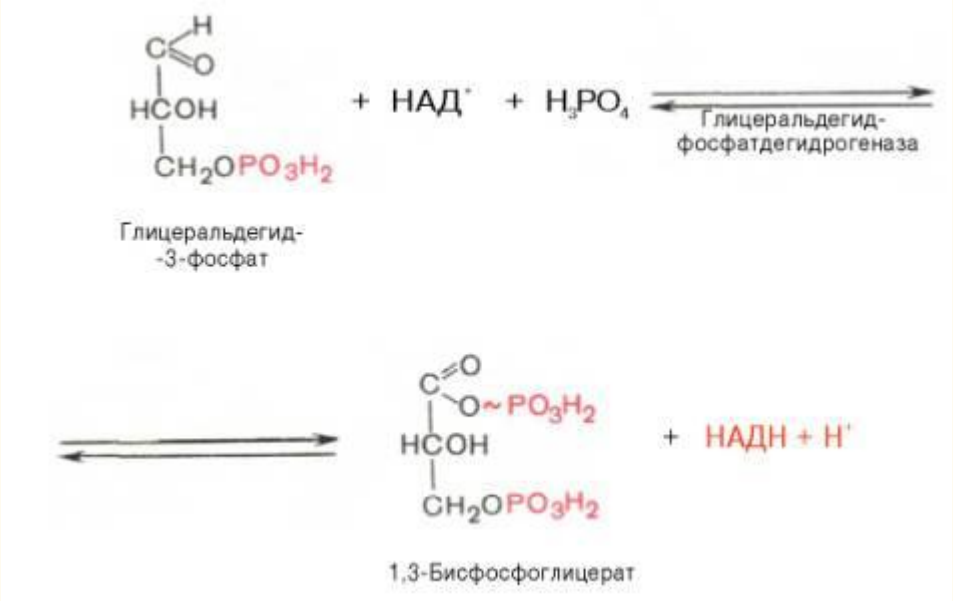
Таким образом, мы “насадили” 1 фосфат на глюкозу, превратили её во фруктозу, “насадили” ещё 1 фосфат и разделили пополам. Получилось 2 молекулы глицеральдегид-3-фосфата. Каждая “насадка” фосфата требовала 1 молекулу АТФ (АТФ отдавал свой фосфат), поэтому суммарное уравнение можно записать как:

- **2 АТФ → 2 АДФ**

Гликолиз. Возвратная стадия (возвращаем АТФ)

Данная стадия характеризуется **5 этапами** получения **пирувата** с попутным получением **4 АТФ** (по 2 АТФ с **2 молекул** глицеральдегид-3-фосфата), а также **2 восстановленных NAD*H**. По сути самые важные изменения происходят именно в этом этапе.

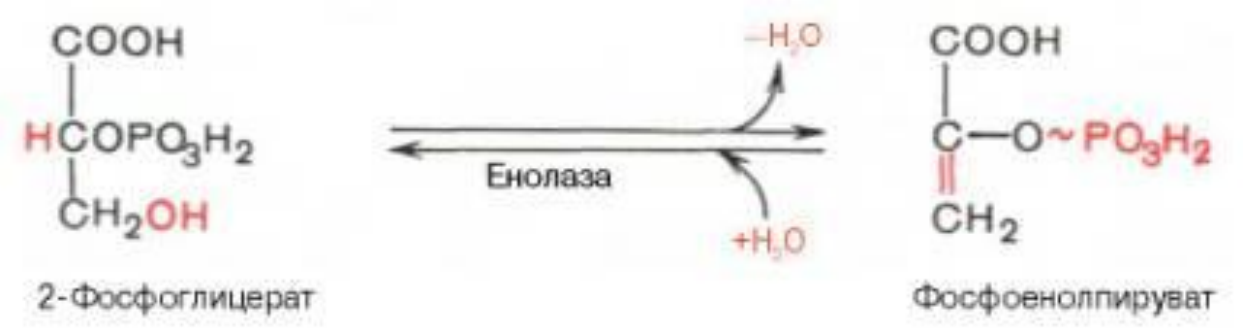
Глицеральдегид-3-фосфат ⟷ 1,3-дифосфоглицерат (+NAD*H)



1,3-дифосфоглицерат ⟷ 3-фосфоглицерат (+АТФ)

3-фосфоглицерат ⟷ 2-фосфоглицерат

2-фосфоглицерат ⟷ фосфоенолпируват (+H2O)



Фосфоенолпируват → Пируват (+АТФ)

ИТОГИ ВОЗВРАТНОЙ СТАДИИ ГЛИКОЛИЗА

- В возвратной стадии участвовало 2 молекулы глицеральдегид-3-фосфата (назовем его ГАФ), значит **результаты удваиваются**.
- С 1 молекулы ГАФ образовался 1 НАД*Н, 2 АТФ, 1 Н2О
- Значит, с 2 молекул ГАФ (1 молекулы глюкозы) 2 НАД*Н, 4, АТФ, 2 Н2О
- Итоговое уравнение возвратной стадии выглядит как:

- **4 АДФ + 2 НАД = 4 АТФ + 2 НАД*Н + 2 Н2О**

ИТОГ ГЛИКОЛИЗА:

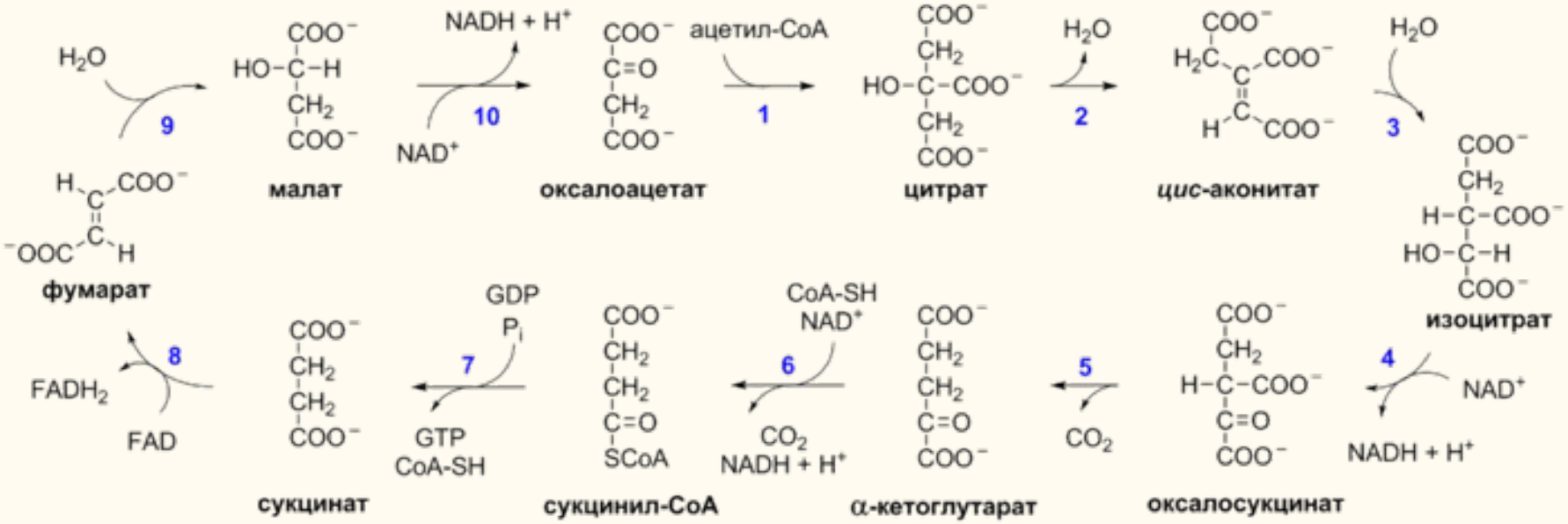
$C_6H_{12}O_6$ + 2NAD(+) + 2АДФ + 2(Р)

$2C_3H_4O_3$ + 2NAD*H + 2АТФ + + 2H20 + 2H(+)

Окислительное декарбоксилирование пирувата

Чтобы вступить в **цикл трикарбоновых кислот**, пируват должен превратиться в ацетил-кофермент А (**ацетил-CoA**). Окислительное декарбоксилирование одного пирувата даёт 1 молекулу NAD*H. Но так как с 1 моль глюкозы образуется 2 пирувата, в итоге образуется 2 NAD*H.

Цикл Кребса



Цикл трикарбоновых кислот состоит из 10 цикл. реакций. Смысл: получение 3 NAD*H, 1 ГТФ (энергетически равен 1 АТФ), 1 FAD*H2. Побочные продукты: 2 CO2, CoA-SH. Так как мы имеем 2 молекулы ацетил-CoA, то **цикл идёт 2 раза.** Итого получаем: **6 NAD*H + 2FAD*H2 + 2 АТФ + побочные продукты**

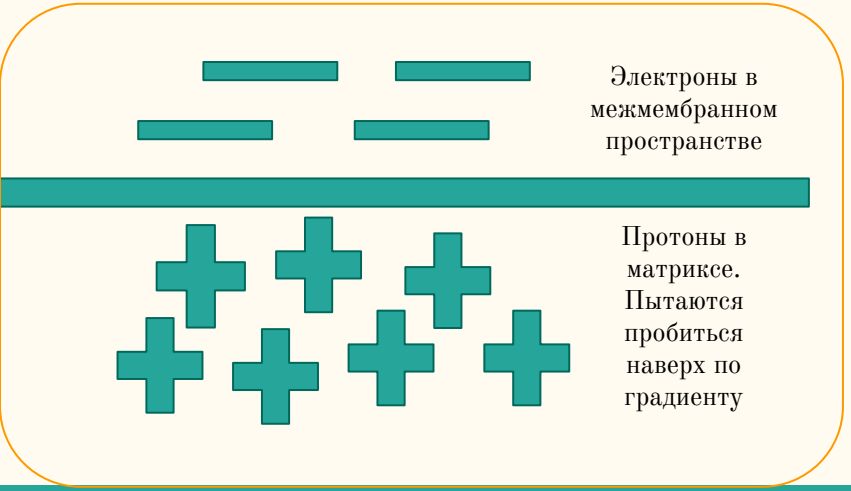
Суммарный выход от 1 молекулы глюкозы

C6H12O6 + вспомогательные вещества

10 NAD*H + 2 FAD*H2 + 4 АТФ

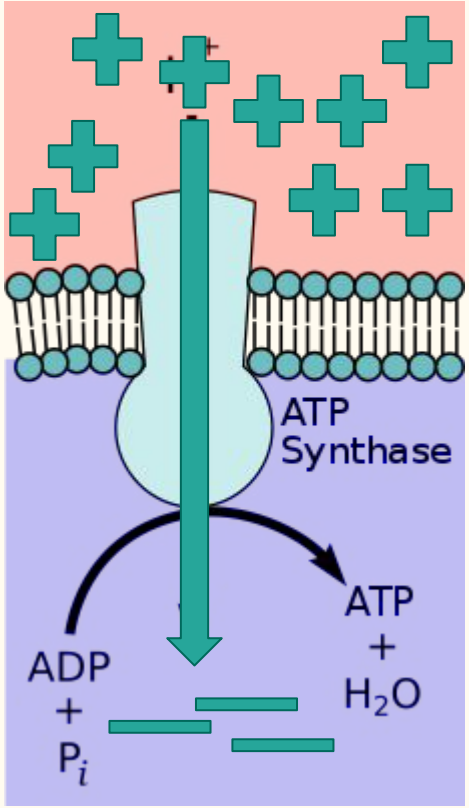
В чем смысл переносить электроны?

Далее NAD*H и FAD*H2 идут в дых. цепь (**цепь переноса электронов)** на мембрану митохондрии, чтобы создать **протонный градиент**. Так как противоположные заряды притягиваются, протоны стремятся покинуть матрикс и выйти к электронам в межмембранное пространство.



- **1 NAD*H** даёт **10 молекул** протонного градиента.
- **1 FAD*H2** даёт **6 молекул** протонного градиента.

Цепь переноса электронов.



Природа научилась использовать градиентный поток в своих целях. Установленная в мембрану **АТФ-синтаза (грибовидное тело)** при прохождении сквозь неё протонов вращается, образуя АТФ.

- Для синтеза 1 молекулы АТФ нужны 3.333 молекулы протонного градиента
- **1 НАД*Н = 10 молекул п.г.**, значит **1 НАД*Н даёт 3 АТФ**
- **1 ФАД*Н2 = 6 м.п.г.**, значит **1 ФАД*Н2 даёт 2 АТФ**

Суммарное уравнение всего

Сначала посчитаем, что и в каком кол-ве мы получили:

- NAD*H... **2** из гликолиза + **2** из окисл. декарбокс. + **6** из ц. Кребса = **10 NAD*H**
- FAD*H... **2** из ц. Кребса = **2 FAD*H2**
- АТФ... 2 из гликолиза + 2 из ц. Кребса = **4 АТФ (свободные)**

10 NAD*H = 30 АТФ

2 FAD*H2 = 4 АТФ.

30 АТФ (NAD*H) + 4 АТФ (FAD*H2) + 4 АТФ (свободные) = 38 АТФ

1 молекула C6H12O6 → **38 АТФ**

P.S. ВНИМАНИЕ!

В презентации умышленно пропущены некоторые моменты (не описаны пентозофосфатный путь и ферменты ЦТК, не упомянуты 4 комплекса в дых. цепи), чтобы облегчить восприятие нового и сложного материала.

В современных учебниках биохимии (Ленинджер) принято считать, что для синтеза АТФ нужны 4 протона. В таком случае градиента от 1 NAD*H будет хватать лишь на 2,5 АТФ, а не на 3. От FAD*H2 будет соответственно 1.5 АТФ, а не 2. Исходя из новых данных выход 1 мол. глюкозы будет не 38 АТФ, а 32 АТФ. **На ЕГЭ глюкоза всегда даёт 38 АТФ.**